



UNIVERSITI PUTRA MALAYSIA

**CIRI KENYAL DAN RAWAT HABA BAGI KACA ARGENTUM
BORAT DAN FOSFAT**

HALIMAH BINTI MOHAMED KAMARI

FSAS 2001 45

**CIRI KENYAL DAN RAWATAN HABA BAGI KACA ARGENTUM
BORAT DAN FOSFAT**

HALIMAH BINTI MOHAMED KAMARI

**MASTER SAINS
UNIVERSITI PUTRA MALAYSIA**

2001



**CIRI KENYAL DAN RAWATAN HABA BAGI KACA ARGENTUM
BORAT DAN FOSFAT**

Oleh

HALIMAH BINTI MOHAMED KAMARI

**Tesis Ini Dikemukakan Sebagai Memenuhi Keperluan Untuk Master
Sains di Fakulti Sains dan Pengajian Alam Sekitar
Universiti Putra Malaysia**

Mei 2001



Dedikasi

Buat ayah dan ibu yang dicintai

Mohd Kamari bin Sandiman

Rahmah binti Mohtadi

Suami tersayang

Mokhtar bin Abdul Rahim

Anak yang dikasihi

Nuradibah binti Mokhtar

Terima kasih di atas kesabaran dan keperihatinan

Abstrak tesis yang dikemukakan kepada Senat Universiti Putra Malaysia sebagai memenuhi keperluan untuk ijazah Master Sains.

**CIRI KENYAL DAN RAWATAN HABA BAGI
KACA ARGENTUM BORAT DAN FOSFAT**

Oleh

HALIMAH BINTI MOHAMED KAMARI

Mei 2001

Pengerusi : Profesor Madya Sidek Hj. Abd. Aziz, Ph.D

Fakulti : Sains dan Pengajian Alam Sekitar

Kaca boleh dihasilkan dalam pelbagai komposisi pada julat yang luas untuk penggunaan tertentu. Dalam kajian ini, kaca argentum dengan pembentuk kaca borat dan fosfat telah dikaji. Empat siri kaca telah berjaya disintesis iaitu argentum borat $(\text{Ag}_2\text{O})_x (\text{B}_2\text{O}_3)_{1-x}$ ($x = 0.2$ hingga 0.4), argentum iodida borat $(\text{AgI})_x (\text{Ag}_2\text{O})_y (\text{B}_2\text{O}_3)_z$ ($x = 0.04$ hingga 0.18), argentum fosfat $(\text{Ag}_2\text{O})_x (\text{P}_2\text{O}_5)_{1-x}$ ($x = 0.2$ hingga 0.5) dan argentum iodida fosfat $(\text{AgI})_x [\text{Ag}_2\text{O} 2 \text{P}_2\text{O}_5]_{1-x}$ ($x = 0.035$ hingga 0.6). Pengukuran halaju ultrasonik telah dijalankan menggunakan sistem pemperolehan data ultrasonik MBS 8000. Ketumpatan kaca tersebut diukur dengan menggunakan prinsip Archimedes. Daripada halaju dan ketumpatan, ciri-ciri kenyal kaca boleh didapati. Modulus Young, modulus

pukal dan suhu Debye didapati meningkat dengan kandungan Ag_2O dan mula berkurangan setelah komposisi pecahan mol Ag_2O melebihi 0.35 bagi argentum borat. Modulus Young dan modulus pukal bagi argentum iodida borat didapati meningkat dengan penambahan AgI tetapi corak suhu Debye yang berkurangan dengan meningkatnya AgI. Bagi kaca argentum fosfat, modulus Young dan modulus pukal meningkat dengan kandungan Ag_2O dan suhu Debye dengan corak berkurangan. Modulus Young didapati meningkat dengan AgI tetapi corak yang berkurangan bagi modulus pukal dan suhu Debye diperhatikan dalam kes argentum iodida fosfat. Ciri-ciri kenyal kaca didapati berkait rapat dengan kekuatan rangkaian dan struktur kaca. Kedua-dua siri kaca didapati mempunyai modulus kenyal semakin meningkat terhadap suhu. Setelah mendapat rawatan haba, diperhatikan bahawa kaca semakin tegar dan struktur kaca semakin kuat.

Abstract of thesis presented to the Senate of Universiti Putra Malaysia in
fulfilment of the requirement for the degree of Master of Science.

THE STUDIES OF ELASTIC PROPERTIES AND HEAT TREATMENT OF SILVER BORATE AND PHOSPHATE GLASSES

By

HALIMAH BINTI MOHAMED KAMARI

May 2001

Chairman : Associate Professor Sidek Hj. Abd. Aziz, Ph.D

Faculty : Science and Environment Studies

Glasses can be produced in various composition over a very wide range for particular application. In this studies, silver glass with borate and phosphate glass former are being studied. Four series of glasses have been successfully synthesized i.e; silver borate $(\text{Ag}_2\text{O})_x (\text{B}_2\text{O}_3)_{1-x}$ ($x = 0.2$ to 0.4), silver iodide borate $(\text{AgI})_x (\text{Ag}_2\text{O})_y (\text{B}_2\text{O}_3)_z$ ($x = 0.04$ to 0.18), silver phosphate $(\text{Ag}_2\text{O})_x (\text{P}_2\text{O}_5)_{1-x}$ ($x = 0.2$ to 0.5) and silver iodide phosphate $(\text{AgI})_x [\text{Ag}_2\text{O} 2 \text{P}_2\text{O}_5]_{1-x}$ ($x = 0.035$ to 0.6). The ultrasonic velocities of the glass were measured by using the MBS 8000 ultrasonic data acquisition system. The densities were determined by using the Archimedes' principle. From ultrasonic velocities and densities the elastic properties of these glasses were then obtained. Young's

modulus, bulk modulus and Debye temperature of binary silver borate were found to increase with mole fraction of Ag_2O and start to decrease when the mole fraction beyond 0.35. Young's modulus and bulk modulus of silver iodide borate were found to increase with the addition of AgI but decreasing trend were observed in Debye temperature with the addition of AgI. For silver phosphate glass, Young's modulus and bulk modulus increase with Ag_2O and Debye temperature with decreasing trend was observed. Young's modulus was found to increase with AgI but a decreasing pattern for bulk modulus and Debye temperature were observed in the case of silver iodide phosphate. The elastic properties of these glasses are closely related to the strength of glass networks and structures. Both series of glasses were found to have an increase elastic modulus with temperature. After heat treatment it was observed that glass became more rigid and structure of glass became stronger.

PENGHARGAAN

Bersyukur ke hadrat Illahi kerana dengan limpah kurniaNya saya diberikan kekuatan, semangat dan kesabaran untuk menyiapkan tesis ini.

Ribuan terima kasih diucapkan kepada kepada penyelia saya, Prof. Madya Dr. Sidek Abdul Aziz di atas segala pemerhatian, kesabaran dan nasihat serta tunjuk ajar sepanjang saya menjalankan program sarjana ini. Saya juga mengucapkan terima kasih kepada Prof. Madya Dr. Chow Sai Pew di atas bimbingan dan kerjasama yang diberikan.

Saya juga mengucapkan terima kasih kepada Ahli Jawatankuasa Penyeliaan yang lain iaitu Profesor Dr. Abdul Halim bin Shaari dan Profesor Madya Dr. Senin Hassan yang telah memberi teguran dan pandangan yang membina dalam usaha untuk menyiapkan kajian ini.

Saya mengucapkan berbanyak terima kasih kepada Azman Kassim, Khamirul Amin Mantori, Rosnita, Mohd. Rafi, Roshidah, Hasnu Rizal dan sahabat-sahabat lain yang telah membantu dan memudahkan saya untuk menjayakan program ini. Jutawan terima kasih kepada Puan Azizah Ishak yang telah membenarkan saya menggunakan komputer dan bilik beliau bagi menyiapkan tesis saya. Sesungguhnya dorongan dan pertolongan yang diberikan memberikan keyakinan dan semangat kepada saya.

Kepada suami, anak dan keluarga saya yang sanggup berkorban masa dan sokongan moral yang diberikan memberi semangat untuk saya menyiapkan tesis saya, saya ucapkan jutaan terima kasih.

Akhir sekali saya mengucapkan terima kasih di atas segalanya kepada mereka yang terlibat baik secara langsung atau tidak langsung dalam menyiapkan kajian ini.

Saya mengesahkan bahawa Jawatankuasa Pemeriksa bagi bagi Halimah binti Mohamed Kamari telah mengadakan pemeriksaan akhir pada 14 Mei 2000 untuk menilai tesis Master Sains beliau yang bertajuk “Ciri Kenyal dan Rawatan Haba Kaca Argentum Borat dan Fosfat” mengikut Akta Universiti Pertanian Malaysia (Ijazah Lanjutan) 1980 dan Peraturan-Peraturan Universiti Pertanian Malaysia (Ijazah Lanjutan) 1981. Jawatankuasa Pemeriksa memperakukan bahawa calon ini layak dianugerahkan ijazah tersebut. Anggota Jawatankuasa Pameriksa adalah seperti berikut:

Wan Mohamad Daud Wan Yusoff, Ph.D
Profesor Madya
Fakulti Sains dan Pengajian Alam Sekitar
Universiti Putra Malaysia
(Pengerusi)

Sidek Haji Abdul Aziz, Ph.D
Profesor Madya
Fakulti Sains dan Pengajian Alam Sekitar
Universiti Putra Malaysia
(Ahli)

Chow Sai Pew, Ph.D
Profesor Madya
Fakulti Sains dan Pengajian Alam Sekitar
Universiti Putra Malaysia
(Ahli)

Senin bin Hassan, Ph.D
Profesor Madya
Fakulti Sains dan Pengajian Alam Sekitar
Universiti Putra Malaysia
(Ahli)

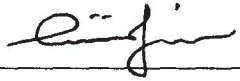
Abdul Halim bin Shaari, Ph.D
Profesor
Fakulti Sains dan Pengajian Alam Sekitar
Universiti Putra Malaysia
(Ahli)



AINI IDERIS, Ph.D
Profesor
Dekan Pusat Pengajian Siswazah
Universiti Putra Malaysia

Tarikh: 28 MAY 2001

Tesis ini telah diserahkan kepada Senat Universiti Putra Malaysia dan telah diterima sebagai keperluan untuk Ijazah Master Sains.

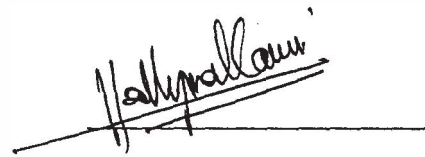


AINI IDERIS, Ph.D
Profesor
Dekan Pusat Pengajian Siswazah
Universiti Putra Malaysia

Tarikh: **14 JUN 2001**

Pengakuan

Saya mengaku bahawa tesis ini adalah hasil kerja saya yang asli melainkan petikan dan sedutan yang telah diberi penghargaan di dalam tesis ini. Saya juga mengaku bahawa tesis ini tidak dimajukan untuk ijazah-ijazah lain di Universiti Putra Malaysia atau di institusi-institusi lain.



(Halimah Mohamed Kamari)

Tarikh: 26 / 5 / 2001

KANDUNGAN

Mukasurat

DEDIKASI	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
PENGHARGAAN	vii
LEMBARAN PENGESAHAN	ix
PENYATAAN KEASLIAN	xi
SENARAI JADUAL	xvi
SENARAI RAJAH	xvii
SIMBOL DAN SINGKATAN	xxii

BAB

1	Pengenalan	1
	Pengenalan	1
	Sejarah Kaca	2
	Penggunaan Kaca dan Kepentingan Komersial	4
	Objektif	6
	Organisasi Bab	7
2	TINJAUAN PENYELIDIKAN	8
	Pengenalan	8
	Latarbelakang Kajian	8
	Kaca Borat	8
	Kaca Fosfat	16
	Kajian Ultrasonik	18
	Ringkasan Bab	19

3	TEORI KACA	21
	Pengenalan	21
	Definisi Kaca	21
	Pengkalsan Kaca	23
	Sifat Bahan Ke atas Leburan Dan Penyejukan	26
	Julat Transformasi Kaca	28
	Struktur Mikroskopik Kaca	35
	Model Rangkaian Rawak	35
	Kaca Kompleks	38
	Sebatian Pembentuk Kaca	42
	Rangkaian Pembentuk	43
	Rangkaian Pengubahsuaian	43
	Sebatian Perantaraan	44
	Kaca Borat	46
	Anomali Boron	47
	Struktur Kaca Alkali Borat	48
	Kaca Fosfat	51
	Konsep Sepuh Lindap Dan Penguatan	55
	Ringkasan Bab	59
4	TEORI KEKENYALAN LINEAR DAN ULTRASONIK	60
	Pengenalan	60
	Halaju Ultrasonik	60
	Transduksi Ultrasonik	60
	Pantulan Gelombang	61
	Penerbitan Halaju Ultrasonik	64
	Geometri Sampel	68
	Halaju Gelombang Membujur Dan Gelombang Ricih	71
	Halaju Membujur	71
	Halaju Ricih	72
	Gandingan Transduser Kepada Sampel	75
	Hubungan Antara Halaju Ultrasonik Dan Modulus Kenyal	76
	Nisbah Poisson	81
	Pemalar Lamé	81
	Suhu Debye	82
	Adiabatik Lawan Modulus Young Isoterma	83
	Ringkasan Bab	84
5	METODOLOGI	86
	Pengenalan	86
	Penyediaan Kaca	86
	Melebur Bahan-bahan Kimia	87
	Pengacuan Bahan Leburan	88
	Pemotongan Dan Pengilapan	91
	Pengukuran Ketumpatan	91

Pengukuran Ultrasonik	92
Sistem MBS-8000	92
Transduser	95
Teknik Prob Tunggal	97
Agen Pelekat	99
Kaedah Pengukuran	99
Ralat Eksperimen Dan Pembetulan	100
Ringkasan Bab	103
 6	
CIRI KENYAL KACA BORAT	104
Pengenalan	104
Kaca Borat	104
Hasil Perbincangan	105
Ketumpatan	105
Isipadu Molar	107
Halaju Ultrasonik	111
Modulus Kenyal	115
Modulus Pukal	117
Modulus Young	117
Nisbah Poisson	121
Suhu Debye	121
Kesan Rawatan Haba Terhadap Parameter Fizik Kaca	122
Ketumpatan dan isipadu molar	122
Halaju gelombang ultrasonik	127
Modulus Kenyal	129
Nisbah Poisson	137
Suhu Debye	137
Ringkasan Bab	137
 7	
CIRI KENYAL KACA FOSFAT	141
Pengenalan	141
Kaca Fosfat	142
Hasil dan Perbincangan	142
Ketumpatan	143
Isipadu Molar	149
Halaju Ultrasonik	149
Modulus Kenyal	153
Modulus Young	156
Modulus Pukal	157
Nisbah Poisson	159

	Suhu Debye	161
	Kesan Rawatan Haba Terhadap Parameter Fizik Kaca	163
	Ketumpatan dan isipadu molar	163
	Halaju gelombang ultrasonik	164
	Modulus Kenyal	170
	Nisbah Poisson	173
	Suhu Debye	177
	Ringkasan Bab	177
8	PERBINCANGAN KESELURUHAN DAN KESIMPULAN	178
	Pengenalan	178
	Perbincangan	178
	Kesimpulan	186
	Cadangan	188
	BIBLIOGRAFI	190
	VITA	195

SENARAI JADUAL

Jadual	Mukasurat
3.1 Jenis polihedra	36
3.2 Klasifikasi kation mengikut kekuatan medan	45
5.1 Perbandingan sifat lima jenis hablur utama	95
6.1 Ciri kenyal kaca $(\text{Ag}_2\text{O})_x(\text{B}_2\text{O}_3)_{1-x}$ pada suhu bilik	106
6.2 Ciri kenyal kaca $(\text{AgI})_x(\text{Ag}_2\text{O})_y(\text{B}_2\text{O}_3)_z$ pada suhu bilik	106
7.1 Ciri kenyal kaca argentum fosfat $(\text{Ag}_2\text{O})_x(\text{P}_2\text{O}_5)_{1-x}$ pada suhu bilik	144
7.2 Ciri kenyal kaca argentum iodida fosfat $(\text{AgI})_x(\text{Ag}_2\text{O}2\text{P}_2\text{O}_5)_{1-x}$ pada suhu bilik	145

SENARAI RAJAH

Rajah	Mukasurat
3.1 Graf isipadu lawan suhu	29
3.2 Menunjukkan kedudukan suhu fiktif	30
3.3 (a) Struktur atom mewakili hablur A_2O_3	39
3.3 (b) Struktur atom mewakili kaca A_2O_3	39
3.4 Struktur sebatian hablur AO	40
3.5 Skema kesan penambahan alkali Na_2O kepada silikat	41
3.6 Pengujudan oksigen tanpa-titian dengan menambahkan oksid alkali	46
3.7 Pengujudan kumpulan BO_3 kepada kumpulan BO_4 dengan menambahkan oksid alkali	47
3.8 Perubahan pekali pengembangan linear sebagai fungsi komposisi dalam kaca binari litium, natrium dan potasium borat.	49
3.9 Pecahan N_4 atom empat koordinasi boron bagi kaca alkali borat	49
3.10 Kumpulan struktur ujud dalam sebatian borat	50
3.11 Struktur molekul PO_4	54
3.12 Struktur molekul P_4O_{10}	54
3.13 P^{5+} dan Al^{3+} menggantikan Si^{4+}	55
3.14 Kecerunan suhu parabola menghasilkan permukaan mampatan yang dua kali ganda magnitud tegangan dalaman	56
3.15 Cadangan jadual untuk sepuh lindap bahan kaca silika batu kapur perniagaan	58
4.1 Arah-arab perambatan bagi struktur berbentuk hablur kubus	65
5.1 Acuan berbelah silinder besi	88
5.2 Proses penyediaan kaca	90

5.3	Skema bagi sistem pengukuran MBS-8000	93
6.1	Ketumpatan kaca binari $(\text{Ag}_2\text{O})_x(\text{B}_2\text{O}_3)_{1-x}$	108
6.2	Ketumpatan kaca $(\text{AgI})_x(\text{Ag}_2\text{O})_y(\text{B}_2\text{O}_3)_z$	108
6.3	Isipadu molar bagi kaca argentum borat	109
6.4	Isipadu molar bagi kaca argentum iodida borat	109
6.5	Halaju membujur bagi kaca argentum borat	113
6.6	Halaju melintang bagi kaca argentum borat	113
6.7	Halaju membujur bagi kaca argentum iodida borat	114
6.8	Halaju melintang bagi kaca argentum iodida borat	114
6.9	Modulus pukal dan C_{44} bagi kaca argentum borat	118
6.10	Modulus pukal dan C_{44} bagi kaca argentum iodida borat	118
6.11	Modulus Young dan C_{11} bagi kaca argentum borat	119
6.12	Modulus Young dan C_{11} bagi kaca argentum iodida borat	119
6.13	Nisbah Piosson bagi kaca argentum borat	123
6.14	Nisbah Piosson bagi kaca argentum iodida borat	123
6.15	Suhu Debye bagi kaca argentum borat	124
6.16	Suhu Debye bagi kaca argentum iodida borat	124
6.17	Ketumpatan kaca argentum borat terhadap suhu	126
6.18	Ketumpatan kaca argentum iodida borat terhadap suhu	126
6.19	Isipadu molar kaca argentum borat terhadap suhu	128
6.20	Isipadu molar kaca argentum iodida borat terhadap suhu	128
6.21	Halaju membujur kaca argentum borat terhadap suhu	130
6.22	Halaju melintang kaca argentum borat terhadap suhu	130

6.23	Halaju membujur kaca argentum iodida borat terhadap suhu	131
6.24	Halaju melintang kaca argentum iodida borat terhadap suhu	131
6.25	Modulus Young kaca argentum borat terhadap suhu	133
6.26	Modulus Young kaca argentum iodida borat terhadap suhu	133
6.27	Modulus pukal kaca argentum borat terhadap suhu	134
6.28	Modulus pukal kaca argentum iodida borat terhadap suhu	134
6.29	Nisbah Poisson kaca argentum borat terhadap suhu	135
6.30	Nisbah Poisson kaca argentum iodida borat terhadap suhu	135
6.31	Suhu Debye kaca argentum borat terhadap suhu	136
6.32	Suhu Debye kaca argentum iodida borat terhadap suhu	136
6.33	Nisbah Poisson kaca argentum borat terhadap suhu	138
6.34	Nisbah Poisson kaca argentum iodida borat terhadap suhu	138
7.1	Ketumpatan kaca binari $(\text{Ag}_2\text{O})_x(\text{P}_2\text{O}_5)_{1-x}$	147
7.2	Ketumpatan kaca $(\text{AgI})_x[(\text{Ag}_2\text{O} \ 2\text{P}_2\text{O}_5)_{1-x}]$	147
7.3	Isipadu molar bagi kaca argentum fosfat	148
7.4	Isipadu molar bagi kaca argentum iodida fosfat	148
7.5	Halaju membujur bagi kaca argentum fosfat	150
7.6	Halaju melintang bagi kaca argentum fosfat	150
7.7	Halaju membujur bagi kaca argentum iodida fosfat	151
7.8	Halaju melintang bagi kaca argentum iodida fosfat	151
7.9	Modulus pukal dan C_{44} bagi kaca argentum fosfat	154
7.10	Modulus pukal dan C_{44} bagi kaca argentum iodida fosfat	154
7.11	Modulus Young dan C_{11} bagi kaca argentum fosfat	155
7.12	Modulus Young dan C_{11} bagi kaca argentum iodida fosfat	155

7.13	Nisbah Piosson bagi kaca argentum fosfat	160
7.14	Nisbah Piosson bagi kaca argentum iodida fosfat	160
7.15	Suhu Debye bagi kaca argentum fosfat	162
7.16	Suhu Debye bagi kaca argentum iodida fosfat	162
7.17	Ketumpatan kaca argentum fosfat terhadap suhu	165
7.18	Ketumpatan kaca argentum iodida fosfat terhadap suhu	165
7.19	Isipadu molar kaca argentum fosfat terhadap suhu	166
7.20	Isipadu molar kaca argentum iodida fosfat terhadap suhu	166
7.21	Halaju membujur kaca argentum fosfat terhadap suhu	168
7.22	Halaju melintang kaca argentum fosfat terhadap suhu	168
7.23	Halaju membujur kaca argentum iodida fosfat terhadap suhu	169
7.24	Halaju melintang kaca argentum iodida fosfat terhadap suhu	169
7.25	Modulus Young kaca argentum fosfat terhadap suhu	171
7.26	Modulus Young kaca argentum iodida fosfat terhadap suhu	171
7.27	Modulus pukal kaca argentum fosfat terhadap suhu	172
7.28	Modulus pukal kaca argentum iodida fosfat terhadap suhu	172
7.29	Modulus membujur kaca argentum fosfat terhadap suhu	174
7.30	Modulus membujur kaca argentum iodida fosfat terhadap suhu	174
7.31	Modulus melintang kaca argentum fosfat terhadap suhu	175
7.32	Modulus melintang kaca argentum iodida fosfat terhadap suhu	175
7.33	Nisbah Poisson kaca argentum fosfat terhadap suhu	176
7.34	Nisbah Poisson kaca argentum iodida fosfat terhadap suhu	176
7.35	Suhu Debye kaca argentum fosfat terhadap suhu	177

7.36	Suhu Debye kaca argentum iodida fosfat terhadap suhu	177
8.1	Ketumpatan kaca argentum borat dan kaca argentum fosfat	180
8.2	Isipadu molar kaca argentum borat dan kaca argentum fosfat	180
8.3	Modulus Young kaca argentum borat dan kaca argentum fosfat	181
8.4	Modulus pukal kaca argentum borat dan kaca argentum fosfat	181
8.5	Nisbah Poisson kaca argentum borat dan kaca argentum fosfat	183
8.6	Suhu Debye kaca argentum borat dan kaca argentum fosfat	183
8.7	Modulus Young bagi kaca argentum borat (simbol berwarna) dan kaca argentum fosfat (simbol tanpa warna) terhadap suhu sepuh	185
8.8	Modulus membujur bagi kaca argentum borat (simbol berwarna) dan kaca argentum (simbol tanpa warna) terhadap suhu sepuh	185

SIMBOL DAN SINGKATAN

v_L	=	Halaju gelombang membujur
v_S	=	Halaju gelombang melintang
v_F	=	Halaju bendalir sempurna
v_M	=	Halaju min atom
ρ	=	Ketumpatan bahan
ρ_s	=	Ketumpatan sampel
ρ_{as}	=	Ketumpatan aseton
W_a	=	Berat sampel dalam udara
W_{as}	=	Berat sampel dalam aseton
R	=	Pekali pantulan
Z_1	=	Impedens akustik bahantara pertama
Z_2	=	Impedens akustik bahantara kedua
σ	=	Tegasan linear
C	=	Pemalar tensor kenyal
ε	=	Terikan linear
u	=	Vektor pergerakan satah
n	=	Vektor unit bersudut tegak dengan muka gelombang
E	=	Modulus Young
G	=	Modulus ricih
K	=	Modulus pukal
λ	=	Modulus Lame

ν	=	Nisbah Poisson
S	=	Komplians
Y_L	=	Modulus kekakuan berkesan
Y_0	=	Modulus kekakuan
θ	=	Suhu Debye
h/k	=	Pemalar Planck
P	=	Nombor atom per molekul
N	=	Nombor Avogadro
M	=	Berat atom min
E_A	=	Modulus adiabatik Young
E_i	=	Modulus isoterma Young
T	=	Suhu mutlak
C_p	=	Haba tentu tegasan tetap terma
α	=	Pekali pengembangan terma
F_b	=	Pemalar daya pembengkokan
l	=	Garis pusat cincin atom
N_b	=	Bilangan ikatan atom A-O dalam cincin
r	=	Panjang ikatan A-O